

## GPS DE PRECISIÓN POR EL MÉTODO ESTÁTICO RELATIVO PARA PUNTOS EN AEROPUERTOS

*Julio Roldán Rodríguez y Jorge Moya Zamora*

Escuela de Topografía, Catastro y Geodesia, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales  
Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica  
Email: jmoya@una.ac.cr; jroldan@una.ac.cr

### RESUMEN

Todo país o región tiene su marco de referencia geodésico definido por un conjunto de parámetros específicos de referencia establecido por mediciones convencionales. Las discrepancias en orientación, traslación y escala respecto a un sistema único mundial, actualmente el Marco Internacional de Referencia Terrestre 2000, abreviado con las siglas en inglés ITRF00, traen consecuencias en la navegación aérea cuando se utiliza el GPS, debido a que las discrepancias citadas generan errores planimétricos desde decenas de metros hasta centenas de metros. Ante esta situación se da la necesidad de establecer en el ámbito mundial criterios de estandarización en la georreferenciación, adoptándose como sistema común de referencia geodésica en la Aviación Civil Internacional, el WGS84 con el ITRF00. En la actualidad, la estandarización en la georreferenciación se da no sólo en la aviación civil sino también en todos los campos de la geodesia, cartografía y catastro.

**PALABRAS CLAVES:** GPS, aeropuertos, GIPSY-OASIS II, ajuste, posición.

### ABSTRACT

Every country has its own geodetic reference frame, defined by a collection of specific parameters established by conventional measurements. The differences in orientation, translations and scale with respect to a unique world system, defined as the International Reference Frame 2000

(ITRF00), brings consequences to aerial navigation when GPS is used because these differences generate planimetric errors on the order of ten meters and hundreds meters. Because of this, the need to establish standardization criteria for georeferencing at the global level is foreseen, mainly when adopting as common reference for civil aviation the WGS84 and ITRF00. At present, the standardization for georeferencing is not only done for civil aviation but for other fields such as geodesy, cartography and cadastre.

**KEYWORDS:** GPS, airports, GIPSY-OASIS II, adjustment, position.

### INTRODUCCIÓN

En el marco del programa de prestación de servicios de la Escuela de Topografía, Catastro y Geodesia (ETCG), de la Universidad Nacional, se determinaron dos estaciones absolutas en el sistema WGS84, marco de referencia ITRF00 en el Aeropuerto Internacional Juan Santamaría, con el propósito que éstas sirvieran de apoyo a una red de puntos GPS para dar coordenadas a otros puntos de detalle dentro del aeropuerto, con fines de navegación aérea. El problema fundamental de este proyecto radicó en la falta de estaciones de amarre en territorio costarricense con coordenadas en el sistema ITRF00 que tuvieran carácter oficial. Por eso, el trabajo se realizó en coordinación con el Instituto Geográfico Nacional y culminó con la oficialización de los resultados por parte de esta institución.

## MEDICIÓN GPS EN LOS PUNTOS ABSOLUTOS

La localización geográfica de los puntos, denominados AJSA y AJSB, se muestra en la figura 1. El método de medición empleado para la determinación de los dos puntos consistió en el denominado Estático Relativo por Medición de Fase. Se utilizaron dos receptores GPS de dos frecuencias, modelo 4000 SST. De acuerdo con las especificaciones dadas, en cada estación se debían acumular en total 72 horas de seguimiento de los satélites con registro de datos cada 30 segundos. En la práctica se acumularon en total 102:36 en el punto AJSA y 101:55 en la estación AJSB, con sesiones de 12 horas durante los días 28, 29 y 30 de abril de 2003 y 5, 6 y 7 de mayo de 2003. La altura de la antena se varió en cada una de las sesiones de medición, con el fin de reducir la correlación entre las mediciones.

## ELABORACIÓN DE LAS MEDICIONES CON GIPSY-OASIS II

La Dirección General de Aviación Civil de Costa Rica estipuló como condición técnica que los datos GPS debían enviarse al JPL-NASA, para ser elaborados con el programa GIPSY-OASIS II. Esta especificación obedece a que los vectores a procesar entre las CORS (Continuously Operating Reference Stations) y las estaciones en el Aeropuerto Internacional Juan Santamaría superarían los 1000 km, con excepción de la estación MANA de Managua, que se ubica a menos de 1000 km. El documento que describe las características del programa y que justifica estas especificaciones puede consultarse en la página de Internet: [http://www.ge.ucl.ac.uk/research/gipsy/sw\\_overview.html](http://www.ge.ucl.ac.uk/research/gipsy/sw_overview.html)

La guía para el envío de archivos de datos a la NASA, la consulta e interpretación de los resultados se encuentran en la página: [http://www.ge.ucl.ac.uk/research/gipsy/auto\\_gipsy\\_info.html](http://www.ge.ucl.ac.uk/research/gipsy/auto_gipsy_info.html)

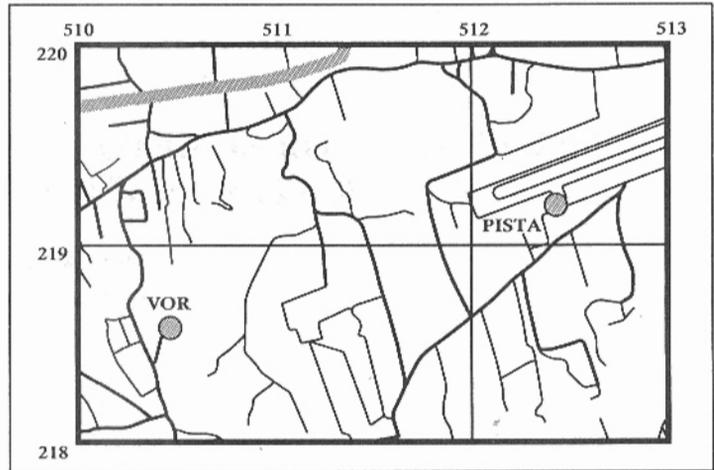


Figura 1. Localización de la zona del VOR y de la PISTA en la hoja cartográfica COCO escala 1:10000 Proyección Cónica conforme Lambert del Instituto Geográfico Nacional.

El procedimiento de elaboración se describe en forma resumida en los siguientes puntos:

- Los archivos originales .dat, .ion, .eph y .mes, de cada una de las sesiones de medición realizadas en los puntos AJSA y AJSB con receptores Trimble® 4000SST, se bajaron al computador.
- Los archivos originales se transformaron a archivos de medición en formato independiente de intercambio entre receptores RINEX, preferiblemente comprimido en formato gzip de la forma eeedddd.aa.o.gz, donde los cuatro primeros campos (eeee) son para el nombre de la estación, los tres siguientes (ddd) para el día GPS, un campo para el número de sesión (s), dos campos (aa) para el año, la letra o debe ir para identificar que es un archivo de datos observados y finalmente la extensión del tipo de compresión (gz).
- Los archivos RINEX se colocaron en un protocolo de transferencia de archivos o ftp, para su acceso por vía de Internet.
- Luego se envió un correo electrónico a la NASA con la palabra STATIC como tema del mensaje y como cuerpo de éste, la dirección

ftp en la cual se encuentra el archivo de observación. Un ejemplo se muestra en el siguiente recuadro.

De: «jroldan» <frceise@racs.co.cr>  
 Para: <ag@cobra.jpl.nasa.gov>  
 Asunto: Static  
 Fecha: jueves, 24 de julio de 2003 03:35 p.m.  
 ftp://fuerzag.ulatina.ac.cr/nasa/  
 AJSA1180.03.o.gz

- El servidor de la NASA busca el archivo en la dirección ftp indicada y una vez procesado envía una respuesta por correo electrónico indicando el problema por el cual no se pudieron elaborar los datos o la dirección ftp de donde se pueden bajar los resultados de la elaboración. Un ejemplo de respuesta positiva se muestra en el siguiente recuadro.

From: Automated GIPSY Account  
 <ag@gps2.jpl.nasa.gov>  
 To: <jroldan@samara.una.ac.cr>  
 Subject: output  
 Date: Thursday, July 17, 2003 2:29 AM  
 You can find several files in directory  
 ftp://gps2.jpl.nasa.gov/pub/ag/  
 2003.07.17.12.26.58.24094.24121  
 They will disappear within a few days.  
 Additional information on AG can be found at  
 http://milhouse.jpl.nasa.gov/ag

Por cada elaboración, la NASA envía ocho archivos de texto, uno se llama LOG y el otro README. En el archivo README se describe el contenido de todos los demás archivos. Los otros seis archivos tienen las extensiones .gd, .pfr.txt, .rgnml, .stacov, .stacvx y .tdp. Así, por ejemplo, los archivos de la solución del 28 de abril de 2003 de la estación AJSA son:

2003-04-28.AJSA.rgnml  
 2003-04-28.AJSA.stacov  
 2003-04-28.AJSA.stacvx  
 2003-04-28.AJSA.tdp

Todos los archivos vienen comprimidos con la extensión .z. Para cada punto y para cada archivo de datos GPS enviado se tienen los ocho archivos de la solución recibida de la NASA. Los archivos con los resultados de las coordenadas elipsoídicas y cartesianas son los que tienen las extensiones .gd y .stacvx, que se muestran como ejemplos a continuación:

#### ARCHIVO 2003-04-28. AJSA.gd

```
AJSA  LAT 03APR28  9.989540821 +
0.0010 -0.041917  0.143476
AJSA  LON 03APR28 -84.218053586 +
0.0031  0.004773
AJSA  RAD 03APR28    914.5201 +
0.0109
```

#### ARCHIVO 2003-04-28. AJSA.stacvx

```
3 PARAMETERS ON 03APR28.
 1 AJSA STA X  0.632964487527745E+06
+- 0.326689314615742E-02
 2 AJSA STA Y -0.625100964796857E+07
+- 0.106463661420186E-01
 3 AJSA STA Z  0.109926787906222E+07
+- 0.222607597964638E-02
 2 1 -0.307285998886519E+00
 3 1  0.284814614434780E+00
 3 2 -0.902421820839571E+00
AJSA ANTENNA LC  0.0000  0.0000
0.0000 !up north east (m)
! transformed from frame_not_set with apply
using flags -r -t -s to Reference frame: IGS00
```

Puede observarse en la última línea del ejemplo anterior que las coordenadas de puntos, suministradas por las soluciones con el programa GIPSY-OASIS II, están referidas al Marco de Referencia IGS00 que coincide con el Marco Internacional de Referencia Terrestre del año 2000, ITRF00. La época de referencia de las coordenadas es la de abril-mayo de 2003. Para cada sesión debe efectuarse todo el proceso descrito anteriormente y el final del resultado se obtiene por un ajuste de observaciones directas de todas las soluciones. Dichos resultados se muestran en el cuadro 1.

La estación ETCG, ubicada en la azotea de la Escuela de Topografía, Catastro y Geodesia, también fue sometida al mismo proceso de elaboración con el programa GIPSY-OASIS II. Se

**Cuadro 1. Promedio de las coordenadas elipsoidicas y exactitud al 95% de probabilidad (1,96 sigma) en el sistema WGS84 de los puntos ubicados en la PISTA (AJSA) y en el VOR (AJSB), según elaboración con GIPSY-OASIS II.**

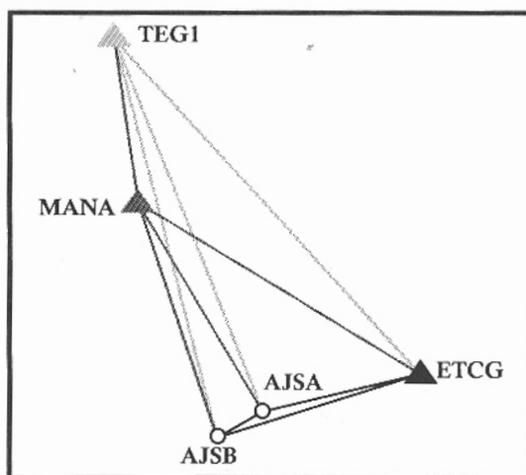
Punto	LATITUD NORTE [° ' '' ]	S <sub>LAT</sub> [mm]	LONGITUD OESTE [° ' '' ]	S <sub>LON</sub> [mm]	ALTURA [m]	S <sub>ATL</sub> [mm]
AJSA	09 59 22,34680	± 7,5	84 13 04,99356	± 6,7	913,074	± 22,7
AJSB	09 59 00,15248	± 6,2	84 14 10,16918	± 6,2	858,126	± 24,1

enviaron en total seis archivos de 24 horas, que abarcan los días GPS 91, 117, 118, 119, 120 y 180. A partir de las seis soluciones se calcularon las coordenadas promedio y sus desviaciones estándar, las cuales se muestran en el cuadro 2.

**ELABORACIÓN PARALELA DE LAS MEDICIONES CON TGO®**

A manera de experimentación se realizó una elaboración de los datos GPS con el programa del fabricante del equipo, denominado Trimble Geomatics Office® TGO versión 1.60, con la licencia que posee la Escuela de Topografía, Catastro y Geodesia. Aunque de acuerdo con las especificaciones, los resultados de la elaboración en la NASA son los que se sometieron a la oficialización, se decidió realizar la elaboración con el TGO para hacer una serie de comparaciones con los resultados de ambos programas.

En primer lugar se realizó un ajuste elipsoidal por mínimos cuadrados, considerando como puntos fijos de amarre MANA y TEGI de Tegucigalpa y como punto nuevo ETCG. Sus coordenadas se determinaron elaborando los vectores, conside-



**Figura 2. Red GPS de amarre para los puntos AJSA y AJSB.**

rando efemérides precisas en el formato EF18 y archivos de datos con sesiones de 24 horas en los días GPS 91 al 111. Estos días abarcaron un período anterior al de la medición en los puntos AJSA y AJSB, realizada durante los días GPS 118, 119, 120, 125, 126 y 127.

**Cuadro 2. Promedio de las coordenadas elipsoidicas y exactitud al 95% de probabilidad (1,96 sigma) en el sistema WGS84 del punto ETCG, según elaboración con GIPSY-OASIS II.**

Punto	LATITUD NORTE [° ' '' ]	S <sub>LAT</sub> [mm]	LONGITUD OESTE [° ' '' ]	S <sub>LON</sub> [mm]	ALTURA [m]	S <sub>ATL</sub> [mm]
ETCG	09 59 58,13555	± 2,2	84 06 21,23055	± 7,7	1194,076	± 6,5

En un segundo paso se realizó un ajuste de la red que se muestra en la figura 2, considerando como puntos de amarre las estaciones MANA, TEG1 y ETCG y los puntos AJSA y AJSB como nuevos. Los vectores correspondientes a esta red se procesaron también con archivos de efemérides precisas. Los resultados de la elaboración están en el cuadro 3.

### ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En el cuadro 3 se pueden observar las discrepancias en las coordenadas en los puntos AJSA,

AJSB y ETCG, obtenidas por la elaboración con los programas GIPSY-OASIS II y TGO.

Estas coordenadas son significativas, si se toma en cuenta que sus magnitudes son mayores que las desviaciones estándar de las coordenadas ajustadas, en un factor mayor que tres en casi todos los casos.

Para experimentar la repetitividad de los resultados en la determinación de las coordenadas de un punto se compararon los resultados de la elaboración de datos GPS en la estación ETCG, los

**Cuadro 3. Coordenadas elipsoidicas y exactitud al 95% de probabilidad (1,96 sigma) en el sistema WGS84 de los puntos AJSA, AJSB Y ETCG, según elaboración con Trimble Geomatics Office®.**

Punto	LATITUD NORTE [° ' " ]	S <sub>LAT</sub> [mm]	LONGITUD OESTE [° ' " ]	S <sub>LON</sub> [mm]	ALTURA [m]	S <sub>ATL</sub> [mm]
AJSA	09 59 22,34625	± 1,4	84 13 04,99408	± 1,7	912,698	± 9,3
AJSB	09 59 00,15166	± 2,2	84 14 10,16959	± 2,6	857,832	± 1,3
ETCG	09 59 58,13473	± 7,6	84 06 21,23093	± 11,5	1193,902	± 7,8

**Cuadro 4. Comparación de coordenadas ajustadas a partir de resultados de la elaboración con los programas GIPSY-OASIS II y TGO.**

Punto	Programa de Elaboración	Latitud [ " ]	Longitud [ " ]	Altura [m]	Vector [mm] 3D / 2D
ETCG	TGO	58.13473	21.23093	1193.902	
	GIPSY-OASIS II	58.13555	21.23055	1194.076	
	Diferencia [ " ]	-0.00082	0.00038		176.21
	Diferencia [mm]	-25.33	11.56	-174.00	27.84
AJSA	TGO	22.34625	4.99408	912.698	
	GIPSY-OASIS II	22.34680	4.99356	913.074	
	Diferencia [ " ]	-0.00055	0.00052		376.72
	Diferencia [mm]	-16.99	15.82	-376.00	23.21
AJSB	TGO	0.15166	10.16959	857.832	
	GIPSY-OASIS II	0.15248	10.16918	858.126	
	Diferencia [ " ]	-0.00082	0.00041		295.35
	Diferencia [mm]	-25.33	12.47	-294.00	28.23

**Cuadro 5. Coordenadas del punto ETCG calculadas en diferentes épocas.  
LATITUD NORTE: 9° 59' LONGITUD OESTE: 84° 06'**

Año	Latitud [ss.sssss]	s (95%)	Longitud [ss.sssss]	s (95%)	Altura [m]	s (95%)
1998	58,13467	± 7,3 mm	21,23118	± 9,8 mm	1193,745	± 18,5 mm
1999	58,13432	± 7,0 mm	21,23042	± 13,3 mm	1193,779	± 19,9 mm
2000	58,13412	± 5,2 mm	21,23165	± 7,8 mm	1193,505	± 36,0 mm
2003	58,13555	± 2,2 mm	21,23055	± 7,7 mm	1194,076	± 6,5 mm
2003	58,13556	± 9,4 mm	21,23058	± 15,1 mm	1194,064	± 21,9 mm

cuales se muestran en el cuadro 5. Los resultados de 1998, 1999 y 2000 corresponden a una elaboración con el programa TGO y los de 2003 corresponden a una elaboración con el programa de la NASA.

En el cuadro 5 pueden apreciarse discrepancias hasta de 15 mm en latitud, 30 mm en longitud y 27 cm en altura al comparar los resultados de dos elaboraciones independientes con el programa TGO, y de 0,3 mm en latitud, 0,9 mm en longitud y 1,2 cm en altura cuando se comparan los resultados de las elaboraciones con el programa de la NASA.

## CONCLUSIONES

En términos generales, considerando los métodos de medición aplicados en la parte GPS, además del análisis de los resultados obtenidos, se puede concluir que:

- Los cálculos realizados por el software GIPSY-OASIS II de la NASA, con base en los archivos de las sesiones de medición GPS efectuadas en los dos puntos, brindan coordenadas elipsoidicas ajustadas en el sistema WGS84, marco de referencia JTRF2000, cuyas desviaciones estándar son 7,5 y 6,2 mm en latitud; 6,7 y 6,2 mm en longitud y 22,7 y 24,1 mm en altura, valores que reflejan la alta calidad con la que se determinaron ambos puntos.
- Se comprueba que el método estático relativo con medición de fase, por ser un método flexible en cuanto a la duración de las sesio-

nes, es el que brinda resultados de alta exactitud y confiabilidad.

- Al comparar las coordenadas de latitud y longitud del punto ETCG, obtenidas en la elaboración con el programa de la NASA y con el programa TGO en la elaboración paralela con el amarre a MANA y TEG1, se obtienen diferencias de 25,3 y 11,6 mm, respectivamente (GIPSY-OASIS II menos TGO).
- Las discrepancias anteriores muestran que con la elaboración paralela se obtuvieron resultados que pueden considerarse como una buena aproximación a los resultados de GIPSY-OASIS II. En las estaciones AJSA y AJSB las diferencias indican una tendencia similar al hacer una comparación análoga de las coordenadas.
- Cálculos repetitivos con datos de distintas épocas de una misma estación muestran que con el programa GIPSY-OASIS II se obtiene una mejor coincidencia entre los diferentes resultados que la que se alcanza elaborando con el programa TGO.
- La elaboración de datos GPS con el programa GIPSY-OASIS II permite obtener resultados de coordenadas con una alta confiabilidad y exactitud, cuando se determinan amarres con estaciones ubicadas a más de 1000 km.

- Las estaciones ETCG, ASJA y AJSB materializan en Costa Rica el ITRF00 y pueden considerarse como puntos de amarre en trabajos geodésicos que deben enmarcarse en el sistema mundial, sin necesidad de tener que efectuar largas sesiones de medición al querer amarrar a estaciones muy distantes.

## BIBLIOGRAFÍA

- Dörries, E. y J. Roldán. 1999. *Estudio comparativo del datum geodésico de Ocotepeque y el datum satelitario del sistema WGS84*. Informe final de proyecto de investigación. Universidad Nacional. Costa Rica.
- Hoffman-Wellenhof, B., H. Lichtenegger and J. Collins. 1992. *Global Positioning System: Theory and Practice*. Adolf Holzhausens Nachfolger, Springer, Viena, Austria. 326 p.
- Moya, J. 2001. *Desarrollo de una metodología de medición en el GPS para el estudio cinemático de cuerpos en la superficie de la Tierra*. Trabajo de Graduación en Licenciatura en Ingeniería Topográfica y Geodésica. Universidad Nacional.
- Núñez-García, A., J.L. Valbuena y J. Velasco. 1992. *GPS: La nueva era de la topografía*. Ediciones de las Ciencias Sociales. Madrid, España. 236 p.
- OACI. 1997. *Manual del sistema geodésico mundial 1984 (WGS84)*. Organización de Aviación Civil Internacional. Catálogo de publicaciones y ayudas audiovisuales de la OACI.
- Roldán, J. y J. Moya. 2003. *Medición GPS para la determinación de dos puntos en el sistema WGS84 en el Aeropuerto Internacional Juan Santamaría*. Informe final. Escuela de Topografía, Catastro y Geodesia, Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. 54 p.